

LAB-ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus
Talonstrakennustekniikka

Roni Kemppainen

Jatkuvan sortuman tarkastelu kantavat seinät-on- telolaatta-runkoisissa monikerroksisissa asuinra- kennuksissa

Tiivistelmä

Roni Kemppainen

Jatkuvan sortuman tarkastelu kantavat seinät-ontelolaatta-runkoisissa monikerroksisissa asuinrakennuksissa, 35 sivua

LAB-ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma

Talonrakennustekniikka

Opinnäytetyö 2020

Ohjaajat: lehtori Petri Himmi, LAB-ammattikorkeakoulu, rakennesuunnittelija

Joonas Lonka, RI-Plan Oy

Opinnäytetyössä tutkittiin jatkuvaa sortumaa ilmiönä, käsiteltiin hallintatapoja sen estämiseksi sekä mitoitettiin sideraudoitus esimerkkikohteessa, jonka jälkeen tarkasteltiin eri muuttujien vaikutuksia sidejärjestelmän mitoitukseen. Opinnäytetyön tuloksena saatiin sidejärjestelmän mitoittava Excel-laskentapohja yrityksen käyttöön. Tärkeintä työssä oli laatia selkeä ja helppokäyttöinen laskentapohja helpottamaan suunnittelijoiden työtä sidejärjestelmän mitoituksessa.

Työssä tarkasteltiin pääosin jatkuvan sortuman estävää sidejärjestelmää. Sidejärjestelmän mitoituksessa yhtenä suurena osana laskentaa on rakennuksen seuraamusluokan määrittäminen. Onnettomuusmitoitustilanteiden tarkasteluissa seuraamusluokat jaetaan vielä omiin alaluokkiin eurokoodijärjestelmän mukaan, johon vaikuttaa merkittävästi muun muassa rakennuksen kerrosmäärä sekä rakennuksen kokonaiskorkeus.

Jatkuvan sortuman estävä sideraudoitus pitää sisällään vaaka- ja pystysuuntaisen sidonnan sekä seinien ja pilareiden sidonnan välipohjaan, riippuen seuraamusluokasta, johon rakennus kuuluu. CC2a-alaluokassa sovelletaan sidejärjestelmää käyttämällä ainoastaan vaakasuuntaista sidontaa. Rakennuksen kuullessa CC2b tai CC3a seuraamusluokkaan, sovelletaan myös pystysuuntaista sidontaa kantavien seinien välillä.

Eri seuraamusluokkien rakennuksissa sideraudoituksen mitoituksessa käytettävät kaavat ja laskenta-arvot voivat poiketa toisistaan. Määräyksiä ja ohjeita sidejärjestelmän mitoitukseen eri seuraamusluokissa on annettu esimerkiksi rakennusinsinööriin kirjallisuudessa, eurokoodissa sekä betoninormikorteissa.

Asiasanat: jatkuva sortuma, paikallinen vaurio, sidejärjestelmä, sideraudoitus, seuraamusluokat, onnettomuusmitoitus

Abstract

Roni Kemppainen

Examination of progressive collapse in load-bearing wall-hollow-slab-frame multi storey residential buildings, 35 pages

LAB University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Construction and Civil Engineering

Structural Engineering

Bachelor's Thesis 2020

Instructors: Mr Petri Himmi, Lecturer, LAB University of Applied Sciences; Mr

Joonas Lonka, Structural Engineer, RI-Plan Oy

The purpose of the study was to examine progressive collapse, its control methods and calculate bond reinforcement for the example object. In addition, the effects of various variables on bond reinforcement were examined. As a final result of this project a calculation platform was made to help the company's structural designers to calculate the bond reinforcement between structures.

The main part of the study was to examine the bond reinforcement that prevents progressive collapse. One major part of calculating the bond reinforcement is to define the consequence class. In the analysis of the accidental design situations consequence classes are divided into lower classes according to the Eurocode.

The bond reinforcement includes horizontal and vertical bonding as well as bonding of walls and columns to the subfloor depending on the consequence class of the building.

The formulas and calculation values used in bond reinforcement calculation may differ from each other. Regulations and instructions for the calculation of the bonding system have been given for example in Eurocode and in different concrete standard cards.

Keywords: progressive collapse, local damage, bonding system, bond reinforcement, consequence classes, accidental design situations

Sisällys

1	Johdanto	5
2	Jatkuva sortuma	5
2.1	Jatkuvan sortuman käsite	5
2.2	Paikallinen vaurio ja sen synty	7
2.3	Paikallisen vaurion hyväksyttävä laajuus	9
3	Seuraamusluokkien käyttö onnettomuusmitoitustilanteessa	10
3.1	Seuraamusluokat	10
3.2	Seuraamusluokka CC1	12
3.3	Seuraamusluokka CC2	13
3.4	Seuraamusluokka CC3	14
4	Rakennuksen vaurionsietokyvyn varmistaminen	15
4.1	Sidejärjestelmä	15
4.1.1	Rengasraudoitus	16
4.1.2	Saumaraudoitus	17
4.1.3	Seinien ja pilareiden sidonta välipohjaan	18
4.1.4	Pystysuuntaiset siteet	19
4.2	Vaihtoehtoiset kuormansiirtoreitit	21
4.3	Avainasemassa olevat rakenneosat	22
5	Eri muuttujien vaikutukset sidejärjestelmän mitoituksessa	23
5.1	Ontelolaataston jännevälin vaikutus vaakasuuntaisen sideraudoituksen laskentaan seuraamusluokissa CC2a ja CC2b	23
5.2	Jännevälien ja eri ontelolaattakokojen vaikutukset pystysuuntaisten siteiden laskentaan	25
5.3	Seinäelementin pituuden vaikutus mitoittaessa seinien ja välipohjan välistä sidontaa seuraamusluokissa CC2a ja CC2b	27
6	Sideraudoituksen laskenta esimerkkikohteessa	28
6.1	Kohteen kuvaus	28
6.2	Rengassiteet ja sisäpuoliset siteet	30
6.3	Seinien sidonta välipohjaan	32
6.4	Seinien pystysidonta	34
7	Yhteenvedo ja pohdinta	35
	Lähteet	36

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö tehdään suunnittelutoimisto RI-Plan Oy:lle. Yrityksen suunnittelukohteisiin kuuluvat muun muassa teollisuus- ja asuinrakennukset, liiketilat, päiväkodit sekä koulut. Yrityksen toiminta keskittyy pääsääntöisesti Kymenlaakson sekä pääkaupunkiseudun alueelle.

Opinnäytetyön tavoitteena on selittää jatkuva sortuma ilmiönä, käsitellä jatkuvan sortuman hallintavat, tarkastella miten eri muuttujat vaikuttavat sideraudoituksen mitoittamiseen sekä mitoittaa jatkuvan sortuman estävä siderauditus esimerkkikohteessa. Lopuksi luodaan sidejärjestelmän mitoittava Excel-laskentapohja yrityksen käyttöön. Työn aihe rajataan mitoittettavan esimerkkikohteen mukaan, eli betonirunkoisiin monikerroksisiin asuinrakennuksiin, tarkemmin ottaen kantavat seinät-ontelolaatta-runkoisiin rakennuksiin.

Jatkuvalla sortumalla tarkoitetaan ketjureaktiona tapahtuvaa sortumaa, joka aiheutuu paikallisen vaurion seurauksena. Tämän seurauksena koko rakennus tai suuri osa siitä sortuu aiheuttaen suuren henkilövahinkojen vaaran. Paikallisesti vaurioitunut rakenne voi olla esimerkiksi yläpuolella olevien rakenteiden tuki, jolloin tuen vaurioitumisen seurauksena sen yläpuolella olevat rakenteet sortuvat ketjureaktiomaisesti. Paikallisen vaurion seurauksena voi myös tapahtua jonkin rakenneosan putoaminen ja siitä aiheutuva voimakas isku sen alla oleviin rakenteisiin aiheuttaen lisää sortumia. (Betoninormikortti 23EC 2012, 3.)

2 Jatkuva sortuma

2.1 Jatkuvan sortuman käsite

Jatkuva sortuma tarkoittaa tilannetta, jossa paikallisesta vauriosta aiheutuva vähäinen sortuma voi laajentua vaarantaen rakenteen tai koko rakennuksen stabiiliuden. Rakennetyypeistä ja runkomateriaaleista riippuen jatkuva sortuminen voi tapahtua äkillisesti tai se voi alkaa ja jatkua hitaana ja asteittaisena vaurioprosessina. (RIL 201-4-2017, 20.)

Jos rakenteessa on jokin vajavuus tai ongelma, voi ensimmäinen paikallinen vaurio syntyä jo mitoituskuormaa pienemmällä kuormituksella. Jos jonkun rakenneosan kantavuus menetetään vaurio tilanteessa, sen kantavat kuormat jakautuvat rakenteessa uudelleen, mikä voi aiheuttaa uuden vaurion muualla rakenteessa. Rakenneosan kantamien kuormien pitää tällöin siirtyä jonkun muun rakenneosan kannateltavaksi, mikä on riskialtista, jos muutkin rakenneosat ovat vähintään yhtä rasitettuja. Tämän seurauksena voi syntyä tapahtumaketju, jonka seurauksena on rakenteen jatkuva sortuminen. (RIL 201-4-2017, 20-21.) Kuvassa 1 on esitetty esimerkki jatkuvan sortuman etenemisestä.



Kuva 1. Jatkuvan sortuman eteneminen (RIL201-4-2017, 31)

Jatkuvan sortuman käsitettä voidaan havainnollistaa kuuluisalla 22-kerroksisen Ronan Point -kerrostalon sortumisella, joka tapahtui vuonna 1968 (Kuva 2). Jatkuva sortuma sai alkunsa 18. kerroksessa tapahtuneesta kaasuräjähdyksestä.



Kuva 2. Ronan Point -kerrostalon jatkuva sortuma vuonna 1968 (Inside Housing 2018)

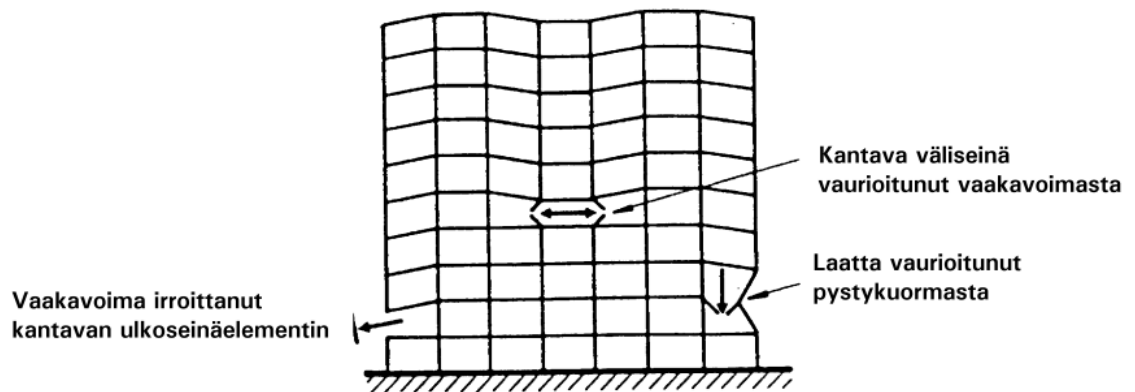
2.2 Paikallinen vaurio ja sen synty

Paikallinen vaurio tarkoittaa onnettomuuskuormasta johtuvaa yksittäisen rakennesosan vaurioitumista. Vaurioitunut rakenne voi olla esimerkiksi kantava sisäkuo-

rielementti, joka tukee yläpuolella olevaa ontelolaattatasoa. Rakenteen vaurioitumisen seurauksena ontelolaattatasolta häviää pystysuuntainen tuenta, mikä voi johtaa ketjureaktiona tapahtuvaan sortumaan samalla aiheuttaen suuren henkilövahinkojen vaaran. (Betoninormikortti 23EC, 2012, 3.)

Mille tahansa kuormaa kantavalle rakenneosalle voi syntyä paikallinen vaurio. Vakavin mahdollinen vaurio koskee jonkin pystyrakenteen esimerkiksi seinän, pilarin tai jäykisteosan kantokyvyn häviämistä varsinkin silloin, kun muutos tapahtuu äkkinäisesti. Tällöin rakenteiden omapainon ja hyötykuormien tulee siirtyä hallitusti kulkemaan muuta reittiä, tai seurauksena voi syntyä jokin ennalta arvaamaton laaja sortuma. (RIL201-4-2017, 22.)

Onnettomuuskuorman aiheuttavat onnettomuustapaukset voidaan jakaa ennakoitavissa oleviin onnettomuustapauksiin sekä ennakoimattomiin onnettomuustapauksiin. Ennakoitavissa oleviin eli tunnettuihin onnettomuustapauksiin luokitellaan esimerkiksi tulipalo, räjähdys ja törmäys. Ennakoimattomat onnettomuustapaukset pitää sisällään sellaiset tilanteet, joita ei ole mahdollista tunnistaa rakenteiden suunnitteluhetkellä. Tällaisia tilanteita voivat olla esimerkiksi perustusten painuminen, rungon epäsymmetriset lämpö- ja kosteusliikkeet sekä ennakoimattomat räjähdykset. Ennakoimattomassa suunnassa vaikuttavaa tunnettua onnettomuuskuormaa voidaan myös pitää ennakoimattomana onnettomuustilanteena. Kaikille ennakoimattomille onnettomuustilanteille on yhteistä se, että niiden aiheuttamaa kuormitusvaikutusta tai voimakkuutta ei tiedetä. (RIL201-4-2017, 17.) Kuvassa 3 on esitetty mahdollisia paikallisia vaurioita, jotka ovat syntyneet onnettomuuskuormien seurauksena.



Kuva 3. Onnettomuuskuormien aikaansaamia vaurioita (Betoninormikortti 23EC 2012, 2)

Yksinkertaisen staattisen mallin omaavat rakenteet ja rakenneosat voivat vaurioitua paikallisesti. Tällöin jatkuvan sortuman kehittyminen on riippuvainen siitä, miten rakenneosat ovat tuettu, tai miten ne on kiinnitetty ympärillä oleviin rakenteisiin. Esimerkiksi nivelellisesti kiinnitetyn palkin putoaminen tuelta voi johtaa jatkuvaan sortumaan. (RIL201-4-2017, 22.)

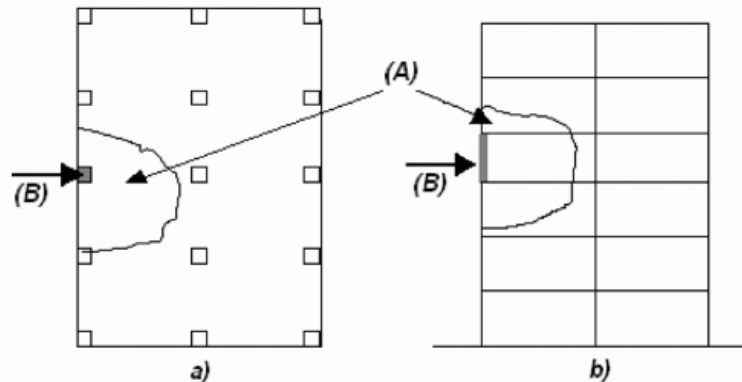
Staattisesti määräämättömillä rakenteilla jatkuvan sortuman etenemisen ennustaminen ja estäminen on hankalampaa, joskin rakenteen staattisesti määräämätön toiminta voi toisaalta suojata rakenteita. Rakenneosan sisäinen vaurioituminen ei välttämättä ole rakenneosan kannalta kriittinen, mutta seurannaisvaikutukset voivat aiheuttaa jatkuvan sortuman. (RIL201-4-2017, 22.)

2.3 Paikallisen vaurion hyväksyttävä laajuus

Onnettomuuskuormista johtuvaa paikallista vauriota pidetään hyväksyttävänä mikäli siitä ei ole vaaraa koko rakenteen stabiiliudelle ja rakenteiden kokonaiskestävyydelle. Paikallinen vaurio ei myöskään saa olla esteenä välttämättömien pelastustoimien suorittamiseen. Tällaisiin pelastustoimenpiteisiin sisältyy esimerkiksi henkilöiden poistaminen rakennuksesta sekä sen ympäristöstä turvallisesti. (Suomen standardisoimisliitto 2007, 26.)

Standardin SFS-EN 1991-1-7 kansallisen liitteen (2007, 56) mukaan paikallisen vaurioitumisen hyväksyttävä laajuus voi olla vaihteleva erityyppisten rakennusten

välillä. Ympäristöministeriön asetuksen 10/16 kohdan 4 § mukaan (2016, 2) monikerroksisten rakennuksien kohdalla paikallisen vaurion suuruus voi olla enintään 15 prosenttia kerroksessa, jossa onnettomuus tapahtuu, ja enintään 100m²/kerros. Vaurion sallitaan tapahtuvan kahdessa päällekkäisessä kerroksessa. Kuvassa 4 havainnollistetaan paikallisen vaurion hyväksyttävää laajuutta monikerroksisissa rakennuksissa.



Selite

(A) Paikallinen vaurio, joka on enintään 15 % kummankin päällekkäisen kerroksen lattiapinta-alasta

(B) Poistettavaksi ajateltu pilari

a) Tasopiirros

b) Poikkileikkaus

Kuva 4. Paikallisen vaurion hyväksyttävä laajuus monikerroksisissa rakennuksissa (Suomen standardisoimisliitto 2007, 56)

3 Seuraamusluokkien käyttö onnettomuusmitoitustilanteessa

3.1 Seuraamusluokat

Seuraamusluokilla tarkoitetaan seuraamusten vakavuuden luokittelua, kun seuraamus on tapahtunut rakenteen vaurioitumisen takia. Seuraamuksia kuvataan ihmishenkien menetyksinä tai taloudellisina, sosiaalisina tai ympäristövahinkoina. Seuraamusluokkien kolme pääluokkaa ovat CC3, CC2 ja CC1. CC3-seuraamusluokassa vauriosta syntyneet seuraamukset ovat suuria, CC2-luokassa keskisuuria ja CC1-luokassa vähäisiä. Seuraamusluokkajako mahdollistaa sen, että kuormien ja kestävyyksien osavarmuuslukuina voidaan käyttää erilaisia arvoja riippuen mahdollisen seuraamuksen vakavuudesta. (Suomen standardisoimisliitto 2006, 136.) Kuvassa 5 on kuvailtu eri seuraamusluokat.

Seuraamusluokka	Kuvaus	Esimerkkejä rakennuksista sekä maa- ja vesirakennuskohteista
CC3	Suuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia.	Pääkatsomot; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat suuret (esim. konserttitalo). <i>Rakennuksen kantava runko¹⁾ jäykistävine rakennusosineen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä, kuten</i> <ul style="list-style-type: none"> – yli 8-kerroksiset²⁾ asuin-, konttori- ja liikerakennukset – konserttitalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot – raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset. <i>Erikoisrakenteet, kuten esim. korkeat tornit. Luiskat sekä penkereet ja muut rakenteet, jotka sijaitsevat siirtymien haittavaikutuksille herkissä ympäristöissä erityisesti hienorakeisten maalajien alueilla.</i>
CC2	Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia.	Asuin- ja liikerakennukset; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat keskisuuret (esim. toimistorakennus). <i>Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1.</i>
CC1	Vähäiset seuraamukset ihmishenkien menetysten tai pienten tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia.	Maa- ja metsätalousrakennukset, joissa ei yleensä oleskele ihmisiä (myös esim. varastorakennukset), kasvihuoneet. <i>1- ja 2-kerroksiset²⁾ rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä³⁾, kuten esim. pienehköt varastot ja maatalouden tuotantorakennukset, joiden pinta-ala on enintään 300 m² tai suurin jänneväli enintään 6 metriä.</i> <i>Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa, kuten</i> <ul style="list-style-type: none"> – matalalla olevat terassit ja alapohjat, ilman kellaritiloja – ryömintätilaiset vesikatot, kun yläpohja on varsinainen kantava rakenne – sellaiset ulko- ja väliseinät, ikkunat, ovet ja vastaavat, joihin pääasiassa kohdistuu ilman paine-eroista aiheutuva sivuttaiskuormitus ja jotka eivät toimi kantavan tai jäykistävän rungon osana.

Kuva 5. Seuraamusluokkien määrittely standardissa SFS-EN 1990 täydennettynä kansallisen liitteen esimerkeillä (RIL 201-4-2017, 32)

Kun tarkastellaan onnettomuusmitoitustilanteessa rakennuksen ja rakenteiden vaurionsietokyvyn varmistamista, tulee noudattaa standardia SFS-EN 1990 kos-

kevistä kansallisista valinnoista annetun ympäristöministeriön asetuksen mukaan seuraamusluokkajakoa. Standardin SFS-EN 1991-1-7 kohdan 3.4(1) (2007, 28) mukaan toimintaperiaatteen valintaa varten seuraamusluokat CC2 ja CC3 jaetaan alaluokkiin a ja b (Kuva 6) rakennuksen koon ja käyttötarkoituksen perusteella niin, että b luokassa seuraamukset ovat suurempia. (Ympäristöministeriö 10/16, § 5.)

Seuraamus-/ alaluokka	Rakennukset ja niiden käyttötarkoitus
CC1	1- ja 2-kerroksiset rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä, kuten esimerkiksi varastot.
CC2a melko pienen riskin ryhmä	Rakennukset, joissa on korkeintaan 4 maanpäällistä kerrosta tai joiden korkeus maanpinnasta on enintään 16 m. Asuinrakennukset, joissa on korkeintaan 2 maanpäällistä kerrosta, voidaan suunnitella onnettomuusmitoitustilanteessa seuraamusluokan 1 mukaisesti.
CC2b melko suuren riskin ryhmä	Kaikki muut rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu alaluokkiin 1, 2a tai 3.
CC3a	9–15 kerroksiset asuin-, konttori- ja liikerakennukset, ja muut 9–15 kerroksiset käyttötarkoitukseltaan ja rungoltaan samantyyppiset rakennukset; kerrosten lukumäärään luetaan kellarikerrokset mukaan.
CC3b	a) muut yli 8-kerroksiset rakennukset kellarikerros mukaan luettuna b) konserttisalit, teatterit, urheilu ja näyttelyhallit, katsomot c) raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset, joissa usein on suuri joukko ihmisiä d) erikoisrakenteet tapauskohtaisen harkinnan mukaan.

Kuva 6. Seuraamusluokkien alaluokat onnettomuustilanteessa (RIL 201-4-2017, 34)

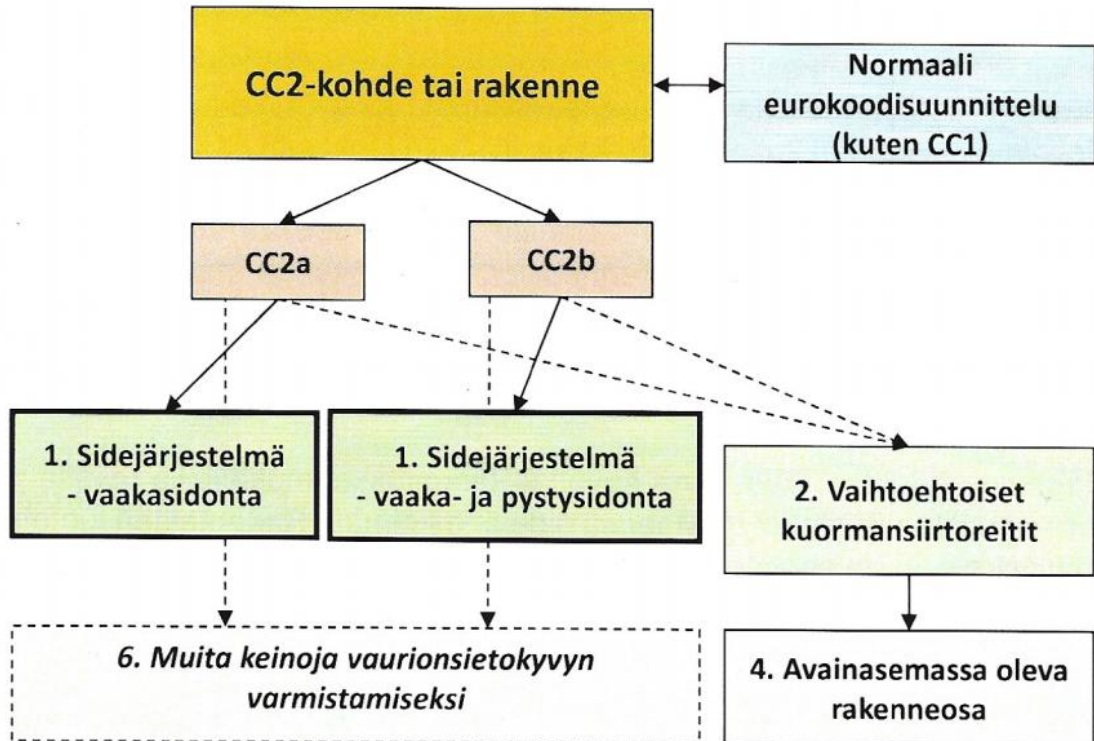
3.2 Seuraamusluokka CC1

Seuraamusluokan CC1 rakennuksissa riittää normaali kestävyysmitoitukseen perustuva suunnittelu, jossa tarkastellaan kuormien vaikutukset murto- ja käyttörajatilassa. Rakenneratkaisu on sopiva, jos murtorajatilatarkasteluissa rakennesien ja liitosten kestävyys on riittävän suuri ja ne täyttävät vaaditut käyttörajatilaehdot sekä säilyvyysvaatimukset. CC1-kohteissa ei tarvitse huomioida ennakoimattomia onnettomuustilanteita, vaan rakenteiden vakauteen liittyvään suunnitteluun kuuluu ainoastaan ennakoitavissa olevat onnettomuustilanteet. (RIL 201-4-2017, 35-36.)

3.3 Seuraamusluokka CC2

Toisin kuten CC1-seuraamusluokan kohteissa, CC2-seuraamusluokassa tulee huomioida myös ennakoimattomien onnettomuustilanteiden tarkastelu. CC2-luokan rakennuksissa tulee huomioida erityisesti eri rakenneosien yhteistoiminta, koska onnettomuustilanteissa eri rakenneosien välillä voi vaikuttaa sellaisia voimia, joita liitoksissa ei ole normaalitilanteissa. (RIL 201-4-2017, 36.)

CC2-luokan rakennuksien suunnittelu alkaa normaalilla eurokoodisuunnittelulla CC1-luokan tapaan. Sekä CC2a, että CC2b-luokissa lähtökohtana on sidejärjestelmän käyttö. CC2a-alaluokassa hyödynnetään sidejärjestelmää käyttämällä vaakasidontaa rakenneosien välillä. CC2b-alaluokassa käytetään vaakasidontan lisäksi pystysidontaa. Sidejärjestelmän sijaan voidaan vaurionsietokyvyn varmistaminen hoitaa vaihtoehtoisilla toimenpiteillä, kuten käyttämällä vaihtoehtoisia kuormansiirtoreittejä. (RIL 201-4-2017, 37.) Kuvassa 7 on esitetty monikerrosrakennuksen menettelytavat onnettomuustilanteiden hallintaan CC2-seuraamusluokan kohteissa.



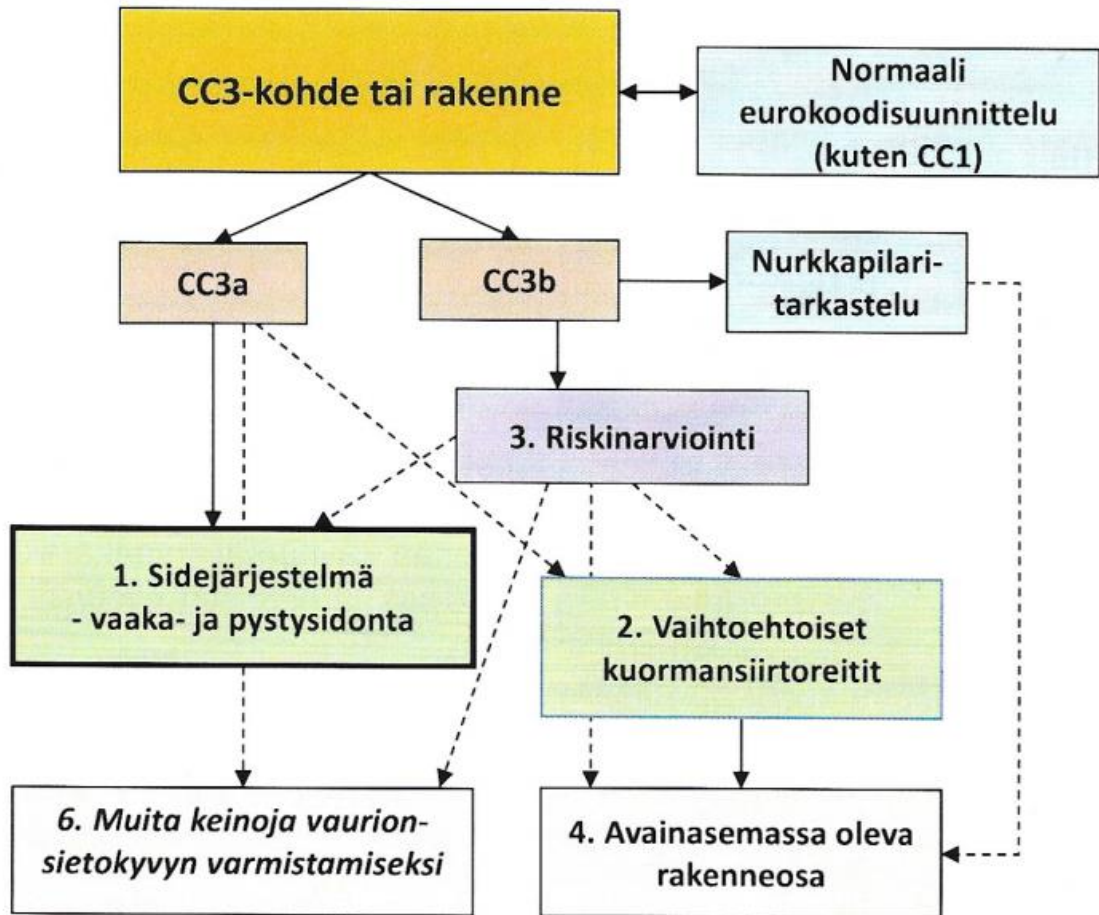
Kuva 7. Monikerrosrakennuksen menettelytavat ennakoimattomien onnettomuustilanteiden hallintaan CC2-kohteissa (RIL 201-4-2017, 37)

3.4 Seuraamusluokka CC3

CC3-seuraamusluokassa, kuten muissakin seuraamusluokissa, menettely onnettomuustilanteiden hallintaan alkaa murto- ja käyttöraja-tilamitoituksella. (RIL 201-4-2017, 38.)

CC3a-seuraamusluokassa käytetään pääosin samoja toimintatapoja kuin CC2b-luokassa. Erona CC3a ja CC2b-luokissa on rakenneosien välisten sidevoimien laskenta. Kummassakin seuraamusluokassa sidevoimat tulee tarkastaa ja todeta riittäviksi, mutta käytettävissä laskentakaavoissa on seuraamusluokkien välillä eroavaisuuksia. (RIL 201-4-2017, 38.)

CC3a ja CC3b-luokan erona on CC3b-luokassa tarkasteltava nurkkapilaritarkastelu sekä riskinarviointi, joka käsittää kohteen rakenteiden toimintaa haittaavien tekijöiden ja tärkeiden rakenneosien tunnistaminen. Kohteen riskinarvioinnin jälkeen voidaan suunnitella toimenpiteet onnettomuustilanteiden vaurionsietokyvyn riittävyyteen sekä jatkuvan sortuman estämiseen. Nurkkapilaritarkastelussa kansallisen liitteen mukaan tulee tarkastella ulko- ja sisänurkissa olevia pilareita ja seinänosia. Tapauksessa ajatellaan esimerkiksi pilarin poistaminen, joka johtaa siihen, että välipohja toimii ulokerakenteena. Seurauksena voi syntyä vaurio, joka ylittää hyväksyttävän rajan. Poistettu rakenne tulee tällaisessa tapauksessa käsitellä avainasemassa olevana rakennusosana riskinarvioinnissa. (RIL 201-4-2017, 38.) Kuvassa 8 on esitetty monikerrosrakennuksen menettelytavat onnettomuustilanteiden hallintaan CC3-seuraamusluokan kohteissa.



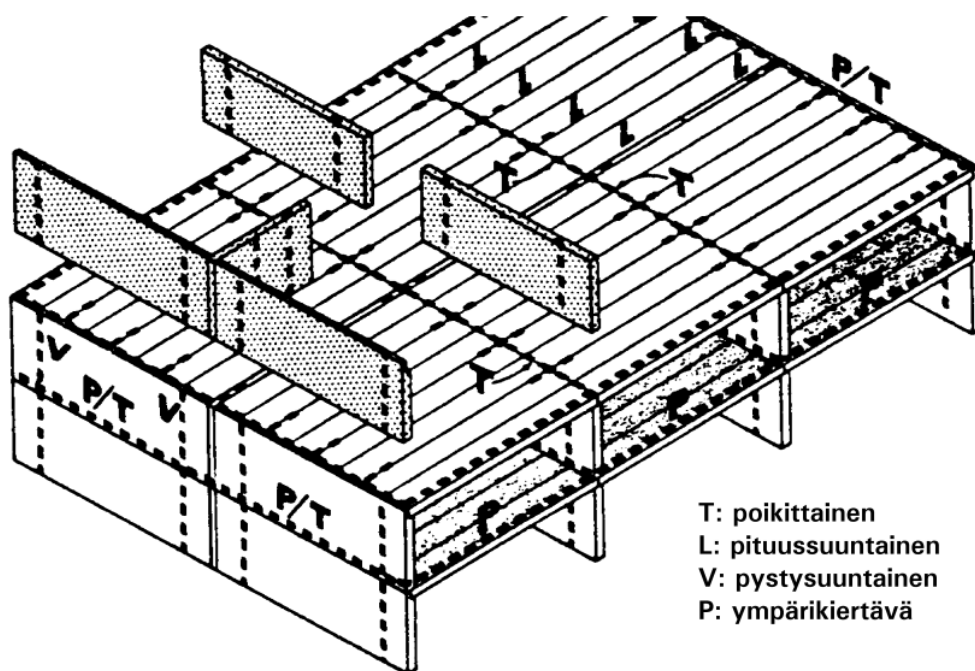
Kuva 8. Monikerrosrakennuksen menettelytavat ennakoimattomien onnettomuustilanteiden hallintaan CC3-kohteissa (RIL 201-4-2017, 38)

4 Rakennuksen vaurionsietokyvyn varmistaminen

4.1 Sidejärjestelmä

Rakenteiden väliset siteet voidaan jakaa vaaka- ja pystysuuntaisiin siteisiin. Standardin SFS-EN 1991-1-7 kansallisen liitteen (2007, 58) mukaan vaakasiteet voivat olla *valssattuja teräsprofiileja, betonilaatoissa olevia betoniteräksiä tai betoni-teräслиittolaatoissa olevia teräsverkkoraudoituksia ja teräsohutlevystä valmistettuja liittolevyraudoituksia*. Siteinä voidaan myös käyttää edellä mainittujen tyyppien yhdistelmiä. Jokaisen jatkuvan siteen ja pääteankkuroinnin edellytys on pystyä siirtämään onnettomuustilanteessa vaikuttavat kuormat.

Rakenteiden välinen sidejärjestelmä pitää sisällään jokaisen väli- ja yläpohjan ympäri kiertävät rengassiteet, toisiaan vastaan kohtisuorassa olevat sisäpuoliset siteet, seinien ja pilareiden sidonnan välipohjaan sekä jokaisen pilarin ja seinän pystysuuntaiset siteet. Rakenteiden sitomisen seurauksena rakenteet saadaan toimimaan onnettomuustilanteessa yhtenä kokonaisuutena ja tilanteessa esiintyvät kuormat saadaan näin ollen jaettua useampien rakenneosien kesken. Tällöin yksittäiset rakenneosat eivät ole yhtä alttiita vaurioitumiselle ennalta määräämättömistä syistä. (RIL 201-4-2017, 43; Suomen standardisoimisliitto 2007, 56, 60, 62.) Kuvassa 9 on havainnollistettu kantavat seinät-laatta runkoisen rakennuksen sidejärjestelmä.



Kuva 9. Kantavat seinät-laatta runkoisen rakennuksen sidejärjestelmä (Betoni-normikortti 23EC 2012, 19)

4.1.1 Rengasraudoitus

Rengasraudoitus on yksi osa jatkuvan sortuman estävää sideraudoitusta elementtirakenteissa. Raudoituksen tarkoituksena on siirtää kuormia turvallisesti

eteenpäin, jos rakenteessa tapahtuu paikallinen vaurio onnettomuuden seurauksena. Jokaisessa väli- ja yläpohjassa tulee käyttää jatkuvaa rengasraudoitusta, jonka etäisyys saa maksimissaan olla 1,2 metriä laataston reunalta. Rengasraudoitus voi sisältää lisäraudoituksen, joka sijaitsee rengasraudoituksen sisäpuolella. (Elementtisuunnittelu.fi 2010.)

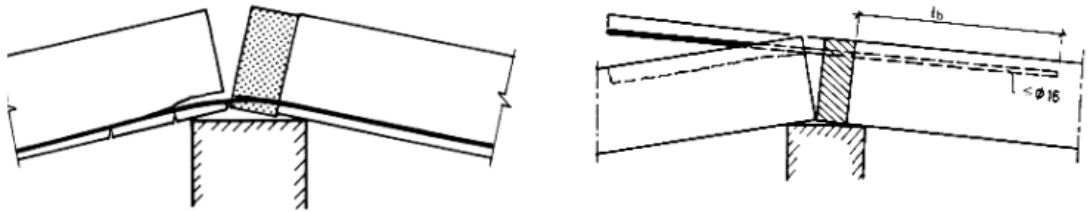
Laatasto toimii useimmiten jäykistävänä levyrakenteena normaalissa murto- ja käyttörajatilassa vaikuttaville vaakasuuntaisille voimille. Jäykkä levyrakenne siirtää vaakavoimat jäykistäville pystyrakenteille, esimerkiksi jäykistäville seinille. Rengasraudoitus on edellytys esimerkiksi ontelolaataston toiminnalle, kun ajatellaan sen toimivan yhtenäisenä tasona. Rengasraudoituksen määrä on riippuvainen tasolle tulevista vaakavoimista ja jäykistävien pystyrakenteiden etäisyydestä. (Elementtisuunnittelu.fi 2010; Betoniteollisuus ry 2012, 57.) Kuvassa 10 esitetään rengasraudoituksen sijainti kantavien seinien ja ontelolaattojen muodostamassa liitoksessa. Rengasraudoitus voidaan myös mahdollisesti sijoittaa kokonaan pintabetonin valuun. Tällöin pintabetonin ja elementin välisen sauman tulee olla riittävän luja sekä pintabetonin paksuuden riittävän suuri. (Häyrinen 2012, 8.)

4.1.2 Saumaraudoitus

Saumaraudoituksella tarkoitetaan laataston sisäisiä siteitä. Ne pyritään aina sijoittamaan sauman keskikorkeudelle, jotta estettäisiin tukimomentin aiheuttama terästen oikeneminen ja näin ollen betonipeitteen rikkoutuminen vaurion tapahtuessa. Sisäiset siteet voidaan jakaa laataston pituussuuntaisiin siteisiin, sekä laataston poikkisuuntaisiin siteisiin. Pituussuuntaisia siteitä käytetään mm. kahden eri ontelolaattakentän välillä palkin tai seinän ylityskohdassa. (Betoninormikortti 23EC 2012, 27; Häyrinen 2012, 6.) Kuvassa 10 esitetään pituussuuntaisen saumaraudoituksen virheellinen sijoitus.

Poikkisuuntaiset siteet sijoittuvat ontelolaattakenttien väliseen saumaan palkkien tai seinän päälle. Saumaraudoitus toimii rengasraudoituksen tavoin onnettomuustilanteessa estämällä elementtien putoamisen, jos laatan toisen pään pysytuki menettää kantokykynsä. Saumoissa oleva raudoitus saa aikaan kantavan köysi- tai kalvorakenteen, joka ylittää vaurioalueen. (Betoniteollisuus ry 2012, 57; Häyrinen 2012, 6.)

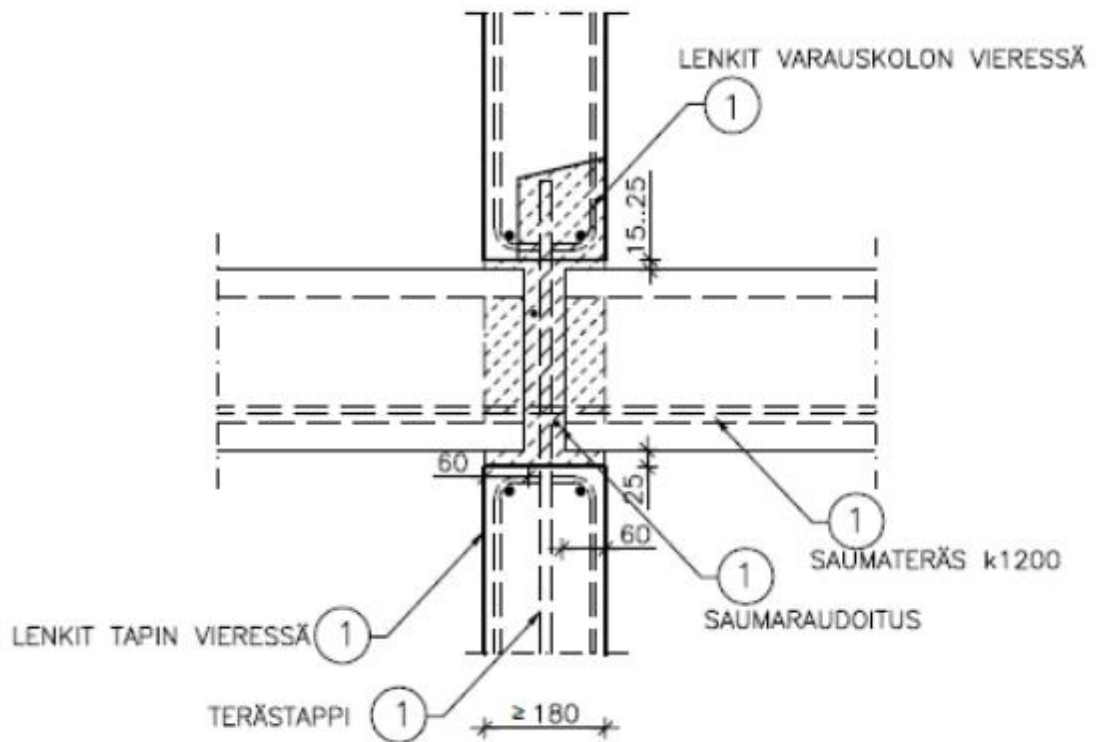
Jokaisessa väli- ja yläpohjan ontelolaattatasossa on käytettävä sekä pitkittäis- että poikkisuuntaisia siteitä ja ne tulee ankkuroida luotettavasti rengasraudoituksen kanssa ontelolaataston kumpaankin päähän, ellei ne jatku pilareihin tai seiniiin vaakasiteinä. (Häyrynen 2012, 7.) Kuvassa 11 esitetään saumaraudoituksen sijainti kantavien seinien ja ontelolaattojen muodostamassa liitoksessa.



Kuva 10. Laataston saumaterästen virheellinen sijoitus (Betoninormikortti 23EC 2012, 27)

4.1.3 Seinien ja pilareiden sidonta välipohjaan

Seinien ja pilareiden sidonta välipohjaan tarkoittaa laataston pituussuuntaisten siteiden ankkurointia laataston poikkisuuntaisten siteiden ja seinäelementtien välisten pystytappien kanssa. Yläpuoliseen seinäelementtiin juotettavat pystytapit sijoitetaan seinien yläosaan saumaterästen viereen. Sidonnan tarkoituksena on ottaa vastaan leikkausvoimat ja saada rakenne toimimaan monoliittisesti. (Betoninormikortti 23EC 2012, 31; Elementtisuunnittelu.fi 2010, 27.) Kuvassa 11 esitetään sidonnan periaate kantavien väliseinien ja ontelolaattojen muodostamassa liitoksessa.



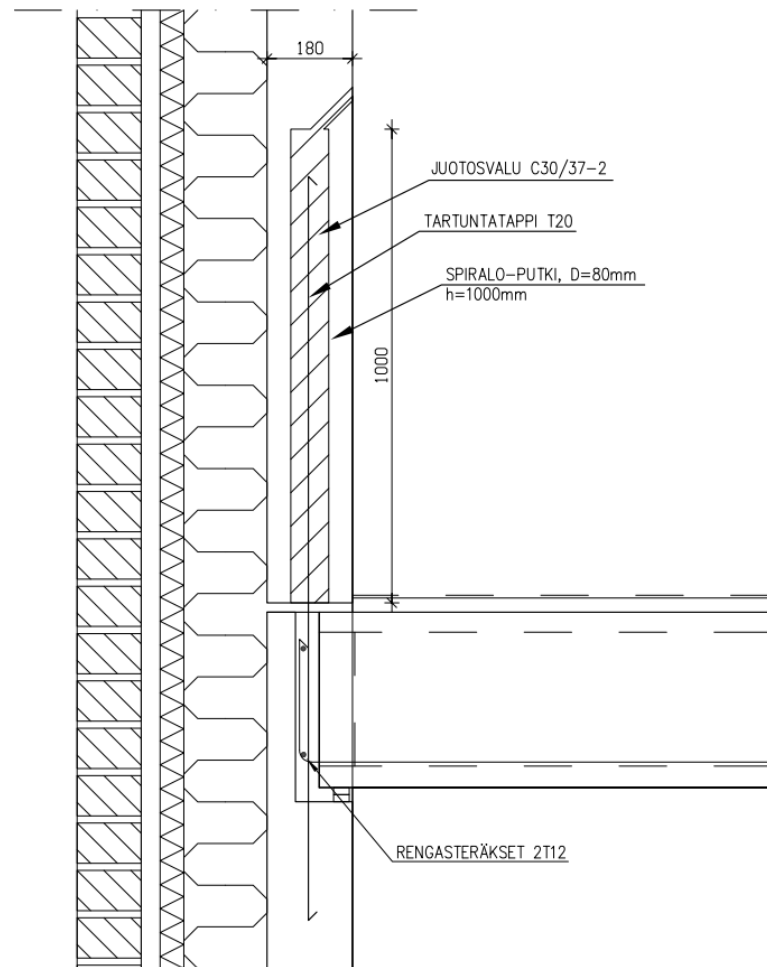
Kuva 11. Kantavien väliseinien ja ontelolaattojen muodostama liitos. (Elementti-suunnittelu.fi 2013, 27)

4.1.4 Pystysuuntaiset siteet

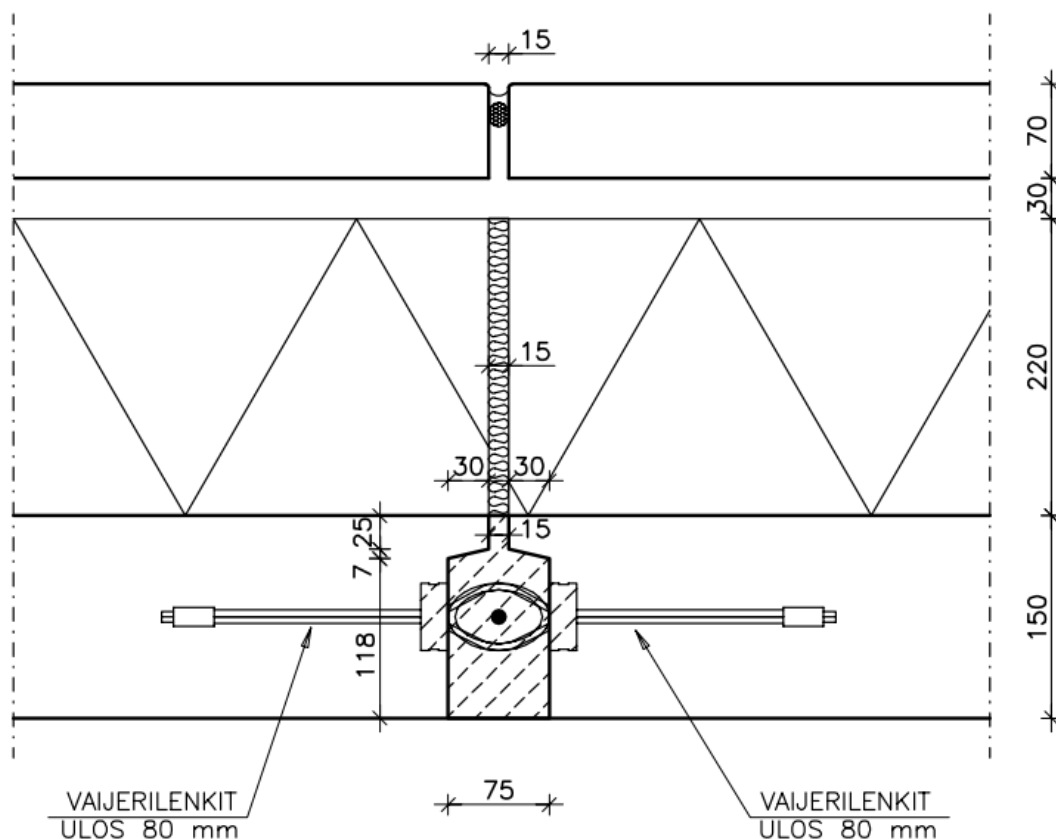
Pystysuuntaisilla siteillä tarkoitetaan pilareissa tai seinissä olevia pystysuuntaisia siteitä, joilla pilarit ja seinät saadaan jatkuviksi perustuksista yläpohjatasoon asti (Suomen standardisoimisliitto 2007, 62). Standardin SFS-EN 1991-1-7 kansallisen liitteen (2007, 62) mukaan jokainen pilari ja seinä tulee varustaa pystysuuntaisella sidonnalla toisiinsa.

Onnettomuusmitoitustilanteessa seuraamusluokkien CC2b ja CC3a rakennuksien kantavien- tai jäykistävien seinäelementtien kiinnitys yläpuolella oleviin kantaviin rakenteisiin mitoitetaan vetokuormalle. Tilanteessa ajatellaan pystysiteiden kannattelevan alapuolella sijaitsevan elementin kuormat, jos elementti menettää kantokykynsä. (Betoninormikortti 23EC 2012, 31-32.) Kuvassa 12 on esitetty seinäelementtien välinen pystysuuntainen sidonta käyttäen harjaterästankoa, joka on sijoitettu seinäelementissä sijaitsevan suojaputken sisään.

Sidonta voidaan toteuttaa jakamalla siteet koko elementin pituudelle tai sijoittamalla ne elementtien välisiin pystysaumoihin, kuitenkin niin, että siteiden keskiöväli on enintään 5 metriä ja ne ovat enintään 2,5 metrin päässä seinän vapaasta päästä. Voimien siirtyminen elementeiltä niitten välisiin saumoihin varmistetaan tällöin tapeilla tai lenkeillä, jotka ulottuvat elementin reunasta saumaan (Kuva 13). (Suomen standardisoimisliitto 2007, 62; Betoninormikortti 23EC 2012, 32.)



Kuva 12. Seinäelementtien väliden pystysuuntainen sidonta suojaputken ja harjateräksen avulla (RI-Plan Oy)



Kuva 13. Kantavien sisäkuorielementtien välinen vaijerilenkkiliitos (Elementti-suunnittelu.fi 2013)

4.2 Vaihtoehtoiset kuormansiirtoreitit

Vaihtoehtoisten kuormansiirtoreittien käyttäminen on yksi tapa varmistaa rakennuksen vaurionsietokyky. Siinä tarkastellaan tilannetta, jossa rakennuksesta ajatellaan poistetuksi pilari, pilaria tukeva palkki, niitten välinen liitos tai kantavan seinän lohko. Poistetun rakenneosan seurauksena kuormat jakautuvat rakenneosien välillä uudella tavalla ja näin ollen kuormitukset pitää pystyä johtamaan perustuksille uusia kuormansiirtoreittejä käyttäen, samalla pitäen koko rakennuksen stabiilius sallituissa rajoissa. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että tarkastelut kohdistetaan rakennuksen koko runkoon ja poistetun rakenneosan seurauksena ei saa aiheutua rakenteen sortumista. (RIL 201-4-2017, 45, 137.)

Ympäristöministeriön asetuksen § 6 (Ympäristöministeriö 10/16) mukaan *vaihtoehtoiset kuormansiirtoreitit suunnitellaan siten, että paikallinen vaurio ei ylitä 4 §:ssä esitettyä rajaa. Mikäli vaihtoehtoista kuormansiirtoreittiä ei ole löydettävissä*

tai menetelmän käyttö johtaa rakenteen teknisen toiminnan kannalta kohtuuttomiin rakenneratkaisuihin, voidaan rakenteiden vaurionsietokyvyn parantamisessa käyttää standardin kohdan 3.3(2) a) (Suomen standardisoimisliitto 2007, 26) mukaista avainasemassa olevan rakennusosan menettelyä siten, että rakennuksen vaurionsietokyky oleellisesti kasvaa.

Ajatellun rakenneosan poistamista ei ole perusteltu standardissa eikä vaurion muodostumisen välivaiheita ole esitetty. Rakenneosan poistaminen rakennesysteemistä on vain valittu yhdeksi onnettomuustilanteen tarkastelunäkökulmaksi auttamaan uhkien ja rakenteiden kriittisten kohtien löytämistä. (RIL 201-4-2017, 45.)

4.3 Avainasemassa olevat rakenneosat

Avainasemassa olevan rakenneosan menettelyä voidaan käyttää vain siinä tilanteessa, että kantavan pystyrakenteen poistaminen aiheuttaa suuremman vaurioalueen kuin mitä ympäristöministeriön asetus sallii. Menettelytapaa voidaan käyttää seuraamusluokissa CC2 ja CC3. (Betoninormikortti 23EC 2012, 7; RIL201-4-2017, 47.)

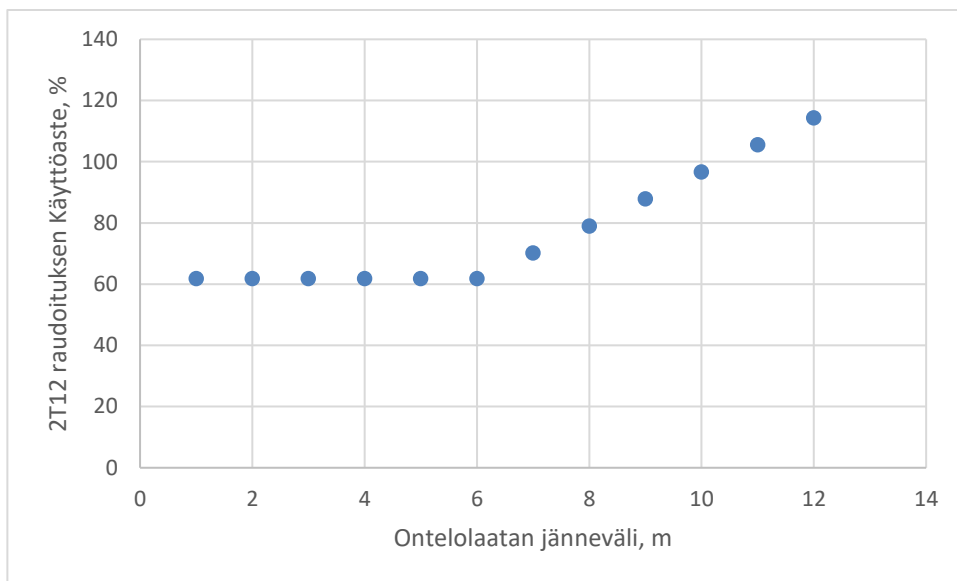
Avainasemassa olevan rakenneosan periaatteena on, että rakenneosa kestää onnettomuuskuormayhdistelmään kuuluvat kuormat, sekä lisäksi onnettomuuskuorman Ad. Kuorma Ad voi olla pistekuorma tai jakautunut kuorma ja se vaikuttaa rakenneosaan joko vaaka- tai pystysuunnassa ja samanaikaisesti siihen kiinnitettyihin komponentteihin. (Betoninormikortti 23EC 2012, 7; Suomen standardisoimisliitto 2007, 28, 64.)

Avainasemassa olevaa rakenneosaa käytettäessä sen luotettavuutta on mahdollista parantaa. Keinoja tähän ovat esimerkiksi seuraamusluokan kasvattaminen, rakenteen staattisen määräämättömyyden lisääminen välillisesti tai rakenneosan maksimikäyttöasteen sopiminen pienemmäksi. (RIL201-4-2017, 48.)

5 Eri muuttujien vaikutukset sidejärjestelmän mitoituksessa

5.1 Ontelolaataston jännevälin vaikutus vaakasuuntaisen sideraudoituksen laskentaan seuraamusluokissa CC2a ja CC2b

Alla olevassa kuvaajassa on havainnollistettu ontelolaataston jännevälin vaikutusta rengasraudoituksen määrään ontelolaataston reunatuella seuraamusluokassa CC2a ja CC2b vaakarakenteen pysyvän kuorman ollessa $>3,0 \text{ kN/m}^2$. Rengas- ja sisäpuolisten siteiden sidevoimien laskentakaavat muuttuvat, jos vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvo on $<2,0 \text{ kN/m}^2$. Tässä tarkastelussa tätä tilannetta ei ole huomioitu, koska normaalisti monikerroksisissa asuinrakennuksissa pysyvän kuorman ominaisarvo ylittää lähes poikkeuksetta arvon $3,0 \text{ kN/m}^2$. Kuvaajasta 1 näkee, millaisiin ontelolaataston jänneväleihin päästään käyttämällä usein käytettyä 2T12 rengasraudoitusta ontelolaataston reunalla.

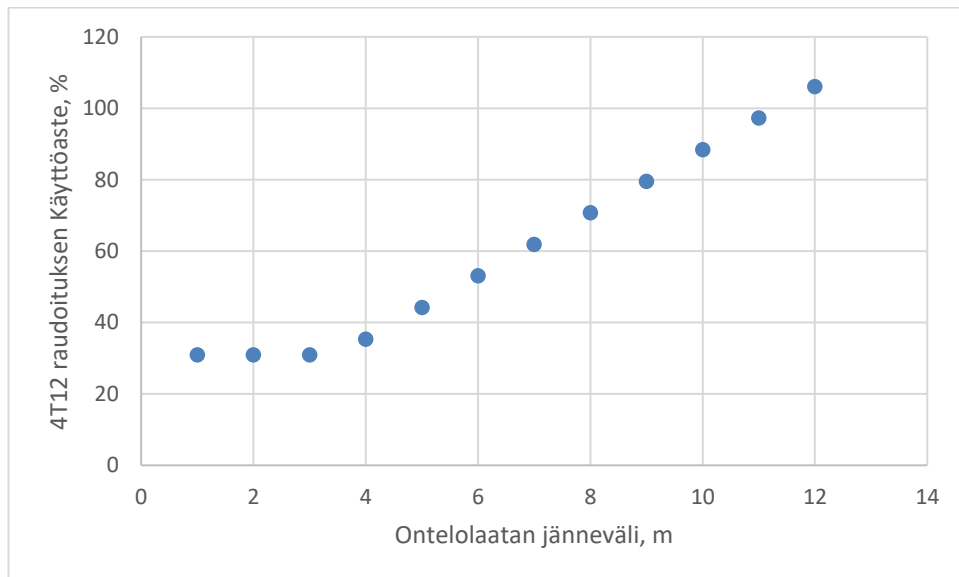


Kuvaaja 1. Ontelolaataston jännevälin vaikutus rengasraudoituksen määrään reunatuella käytettäessä rengasraudoituksena 2T12.

Kuvaajasta käy ilmi, että yleisesti käytettyä 2T12 rengasraudoitusta käytettäessä on mahdollista päästä ontelolaatoilla noin 10 metrin jänneväleihin. Kuvaaja ei nouse lineaarisesti, koska rengas- ja sisäpuolisten siteiden mitoittava sidevoima tulee olla vähintään 70 kN. Alle kuuden metrin jänneväleillä olisi siis mahdollista käyttää vähemmän raudoitusta, jos 70 kN:in vähimmäisarvoa ei olisi määrätty.

Nyrkkisääntöjä mitoituksessa voidaankin pitää, että reunatuella ontelolaataston jännevälin ylittäessä 10 metrin rajan, tulee rengasraudoituksen määrää lisätä.

Jos välipohja on toteutettu esimerkiksi kahdella ontelolaattakentällä ja kummankin kentän toinen reuna on tuettu kantavan väliseinän päälle, kuormitusleveys luonnollisesti tuplaantuu kantavan väliseinän päällä ottaen kummaltakin ontelolaattakentältä puolet ontelolaatastolle tulevasta kuormituksesta. Näin ollen rengasraudoitusta tarvitaan enemmän kantavan väliseinän kohdalla. Alla olevasta kuvaajasta näkee ontelolaatastojen jännevälien vaikutuksen rengasraudoituksen määrään kantavan väliseinän kohdalla, kun kummassakin ontelolaattakentässä käytetään yhtä pitkiä ontelolaattoja. Ontelolaatastolle tuleva pysyvä kuorma on $>3,0 \text{ kN/m}^2$.



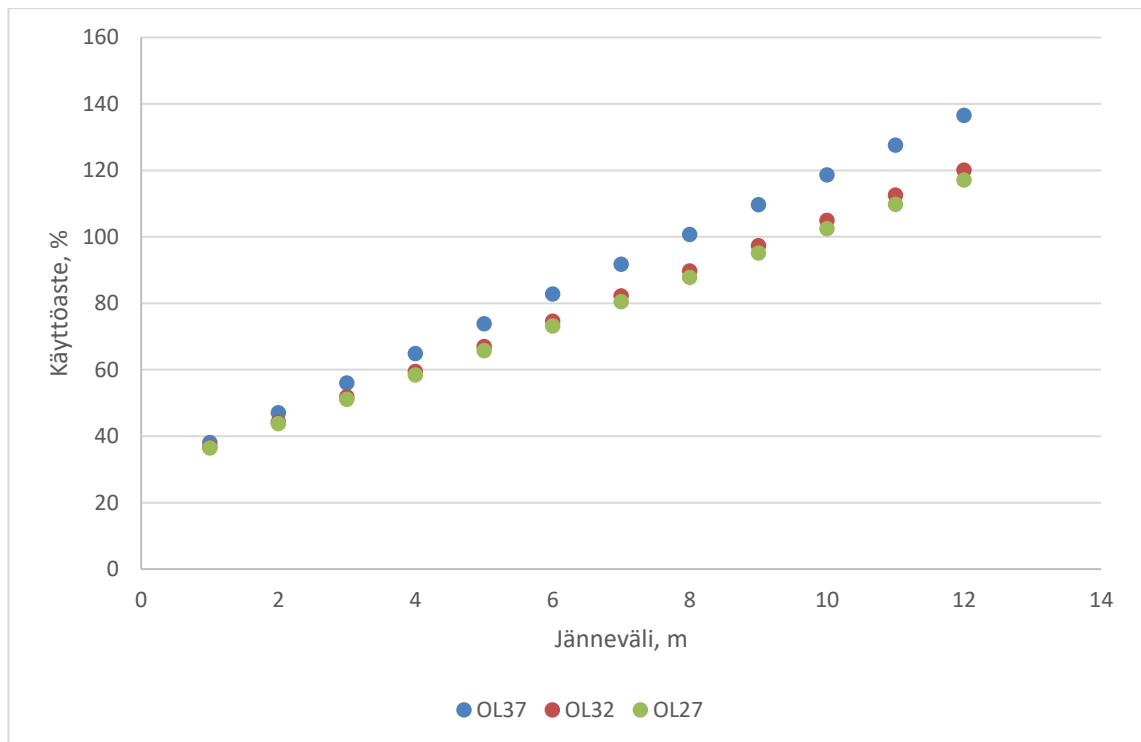
Kuvaaja 2. Ontelolaatastojen jännevälien vaikutus rengasraudoituksen määrään keskituella käytettäessä rengasraudoituksena 4T12.

Kuvaajasta voidaan huomata, että kuormitusleveys on käytännössä suoraan verrannollinen tarvittavaan rauditusmäärään. Reunatuella ontelolaataston 10 metrin jänneväleillä rauditus pystyttiin varmistamaan 2T12 rengasraudoituksella, mutta kuormitusleveyden tuplaantuessa kantavan väliseinän kohdalla, myös rauditusmäärä tuplaantuu. Reunatuen rengasraudoitusta mitoittaessa kuormitusleveyteen otetaan ontelolaatan puolikkaan lisäksi etäisyys seinärakenteen reunaan. Tästä johtuvat pienet erot verrattaessa rengasraudoitusta reuna- ja keskituilla.

Laataston pituussuuntaisten saumaterästen mitoitukseen ei vaikuta kuin ontelolaatastolle tuleva pysyvä kuorma sekä ontelolaatan leveys. Pysyvän kuorman ollessa $>3,0 \text{ kN/m}^2$ ja ontelolaatan vakioleveyden ollessa 1,2 metriä, riittävät pituussuuntaisiin ontelolaattasaumoihin 1T12 teräs ottamaan kuormat vastaan kaikissa tilanteissa. 1T12 raudoitusta käytettäessä jokaisessa ontelolaattasaumassa jää raudoituksen käyttöasteeksi noin 42%. Tämä ei käytännössä koskaan muutu, koska pituussuuntaisten saumaterästen jakoväli on aina 1,2 metriä. 1T8 terästä käytettäessä käyttöaste jää silti alle 100%, mutta normaalisti saumauradoituksena käytetään halkaisijaltaan 10-16 mm teräksiä.

5.2 Jännevälien ja eri ontelolaattakokojen vaikutukset pystysuuntaisten siteiden laskentaan

Seinäelementtien välisten pystysuuntaisten siteiden laskentaan vaikuttaa tarkasteltavan seinäelementin pituus sekä seinäelementille tuleva kuormitus yhdeltä kerrokselta. Seinäelementille tulevassa kuormituksessa huomioidaan sekä pysyvät, että muuttuvat kuormat. Pysyviin kuormiin lasketaan ontelolaataston kuormat sekä yläpuolella olevan seinäelementin oma kuormitus ja muuttuviin kuormiin lasketaan kerroksen hyötykuorma. Alla olevassa kuvaajassa on esitetty miten pysyvän kuorman muuttuminen eri ontelolaattakokoja käytettäessä ja ontelolaataston jännevälit vaikuttavat pystysiteiden laskentaan reunaseinällä, kun tarkasteltavan seinäelementin pituus on viisi metriä. Seinäelementin pituuden ollessa yli viisi metriä, pystysaumoihin sijoitettavien pystysaumaterästen lisäksi vaaditaan ylimääräistä pystysidontaa seinäelementtien välillä. Kaavion luomisessa on käytetty vakioarvoina muuttuvana kuormana $2,0 \text{ kN/m}^2$, ontelolaataston pintavalun ja tasoitteen kuormana yhteensä 1 kN/m^2 , väliseinäkuormana $0,5 \text{ kN/m}^2$ sekä yläpuolella olevan seinäelementin kuormituksen laskennassa seinäelementin vapaana korkeutena 2,6 metriä, kantavan osan paksuutena 0,18 metriä ja betonin tilavuutena 25 kN/m^3 .



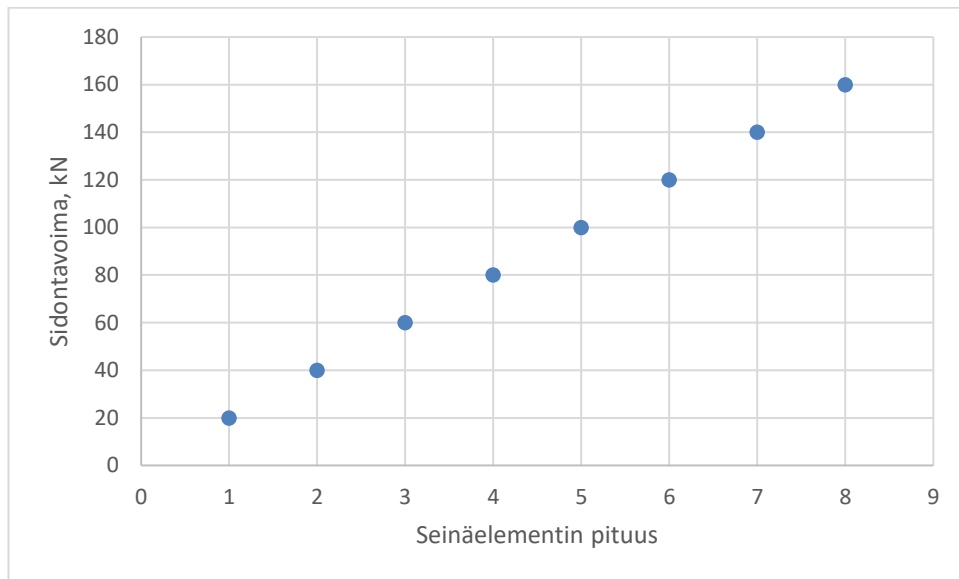
Kuvaaja 3. Jännevälien ja ontelolaattakokojen vaikutus pystysiteiden mitoitusseen reunatuella käytettäessä 1T16 raudoitusta kummassakin seinäelementin pystysaumassa ja seinäelementin pituuden ollessa viisi metriä.

Kuvaajasta käy ilmi, että 270mm ja 320mm ontelolaattoja käytettäessä kuormituserot eivät ole merkittäviä. 370mm ontelolaattoja käytettäessä varsinkin pitemmillä ontelolaatatason jänneväleillä erot ovat selkeitä. 370mm ontelolaattoja käytettäessä päästään noin kahdeksan metrin jänneväleihin ilman, että ylimääräistä pystysidontaa joudutaan käyttämään seinäelementtien välillä. 270mm ja 320mm ontelolaattoja käytettäessä päästään hieman pidempiin jänneväleihin, maksimissaan noin 9,5 metriin.

Jos välipohjassa on kaksi eri ontelolaattakenttää, joiden toinen reuna tukeutuu kantavan väliseinäelementin päälle, niin kuormitusleveys tuplaantuu verrattaessa reunaseinäelementille tulevaan kuormitusleveyteen. Tämä tarkoittaa sitä, että ilman ylimääräistä pystysidontaa kantavien väliseinäelementtien välillä, pystytään käyttämään puolet lyhyempiä ontelolaatatason jännevälejä verrattaessa reunimmaisiiin seinäelementteihin.

5.3 Seinäelementin pituuden vaikutus mitoittaessa seinien ja välipohjan välistä sidontaa seuraamusluokissa CC2a ja CC2b

Seinien ja välipohjien välistä sidontaa laskettaessa mitoitukseen vaikuttaa ainoastaan tarkasteltavan seinäelementin pituus pysyvän kuorman ominaisarvon ollessa $>3,0 \text{ kN/m}^2$. Sidonnan mitoituksessa maksimi sidevoiman arvo on rajattu 150 kN:iin. Alla olevassa kuvaajassa on esitetty, millaisilla seinäelementin pituuksilla sidevoiman maksimiarvo 150 kN ylittyy.



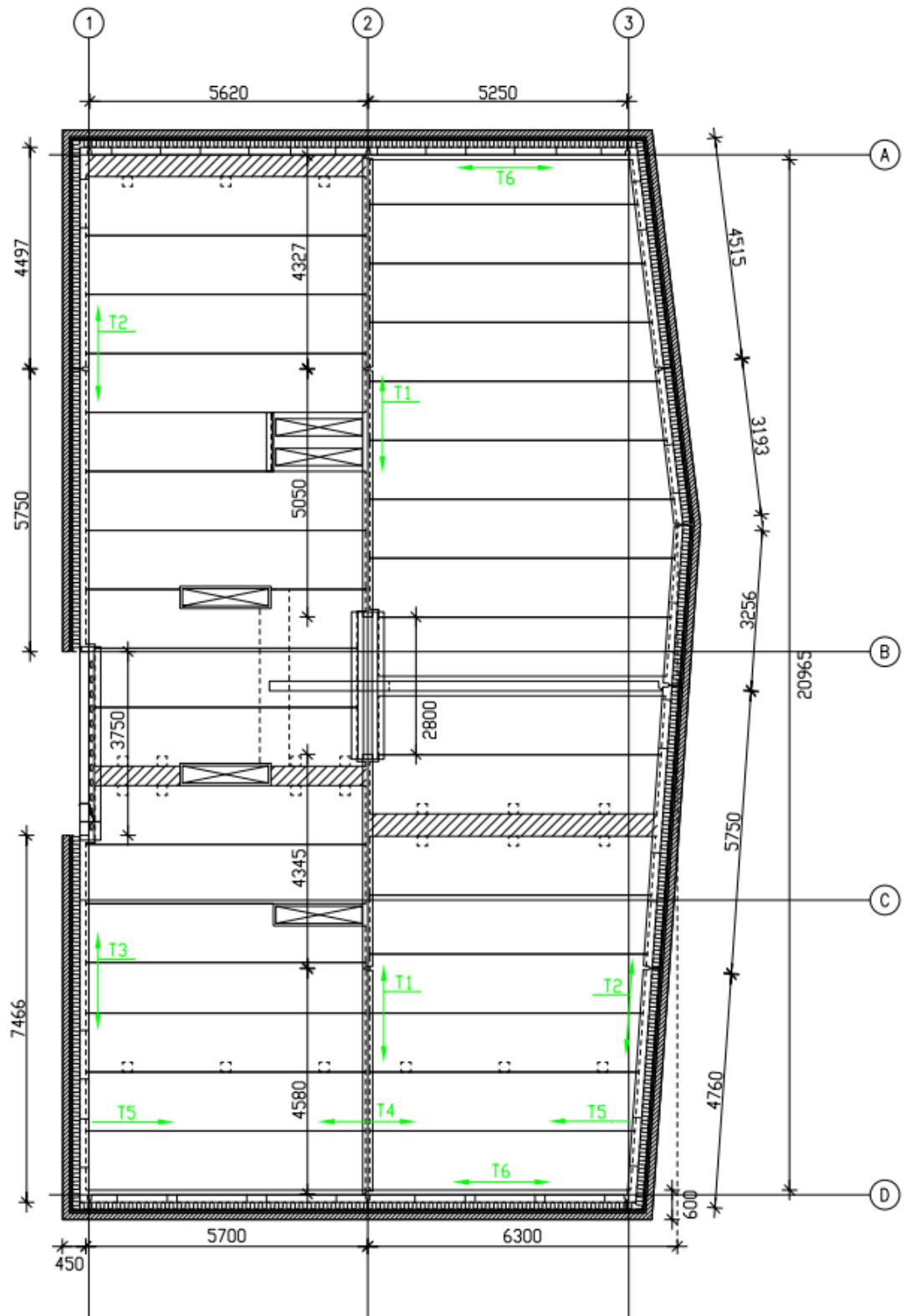
Kuvaaja 4. Seinäelementin pituuden vaikutus sidontavoimaan.

Kuvaajasta nähdään, että maksimiarvo 150 kN ylittyy seinäelementin pituuden ollessa 7,5 metriä. Käytännössä se tarkoittaa, että yli 7,5 metrin pituisilla seinäelementeillä ei ole enää suurentavaa vaikutusta raudoitusmäärään, vaan raudoitus mitoitetaan arvolle 150 kN. Tällainen raudoitus tarkoittaa esimerkiksi neljän 20mm B500B harjaterästäpin käyttämistä seinäelementin pituuden matkalla käyttöasteen ollessa noin 77%.

6 Sideraudoituksen laskenta esimerkkikohteessa

6.1 Kohteen kuvaus

Laskentaesimerkkinä on 11-kerroksisen asuinkerrostalon laajennus Helsingissä, minkä suunnittelun on tarkoitus toteuttaa RI-Plan Oy. Rakennuksen alimmat vanhat kerrokset ovat paikallavalettuja, osittain vahvistettuja teräsbetonirakenteita. Loput yläpuoliset kerrokset ovat elementtirakenteita. Ulkoseinät ovat pääasiassa paikalla muurattuja, eristettyjä sisäkuorielementtejä ja välipohjat pääosin ontelolaattarakenteisia. Kantavina reunaseininä ovat 1 ja 3-linjan seinät sekä kantavana väliseinälinä linjan 2 seinä. Rakennuksen kerroskorkeuden perusteella rakennus luokitellaan seuraamusluokkaan CC3a, joten sidejärjestelmän mitoituksessa tulee soveltaa vaakarakenteissa vaakasiteitä sekä kaikissa kantavissa seinissä pystysiteitä. Sidejärjestelmän mitoituksessa on käytetty apuna RIL201-4-2017, Betoninormikortti 23EC sekä Elementtisuunnittelu.fi asuinkerrostalon mallilaskelmia. Kuvassa 13 on esitetty tasokuva asuinkerrostalon laajennusosasta, johon sidejärjestelmä mitoitetaan.



Kuva 13. Esimerkkikohteen laajennusosan tasokuva

6.2 Rengassiteet ja sisäpuoliset siteet

Välipohjan oman painon ollessa $>3,0 \text{ kN/m}^2$, rengas- ja sisäpuolisten siteiden laskennassa käytetään suurempaa arvoa kaavoista 1 ja 2. Betoninormikortti 23EC mukaan rengassiteiden sidevoima tulee olla vähintään 70 kN. RIL201-4-2017 laskentaesimerkin mukaan tätä vähimmäisarvoa ei kuitenkaan ole määrätty seuraamusluokassa CC3a. Tässä esimerkkikohteen laskennassa sidevoiman suuruutena on käytetty vähintään arvoa 70 kN.

$$T_i = \frac{F_t * 0,8(g_k + \sum \psi_i * q_k)}{6 \text{ kN/m}^2} * \frac{z}{5 \text{ m}} * s \quad (1)$$

$$T_i = F_t * s \quad (2)$$

jossa

F_t on 48 kN/m tai $(16+2,1*n_s)$ kN/m riippuen siitä, kumpi on pienempi

g_k on vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvo

q_k on vaakarakenteen muuttuvan kuorman ominaisarvo

ψ_i on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin onnettomuusrajatilassa

s on sidevoiman kertymäleveys

n_s on rakennuksen kerrosmäärä

z on seinien keskilinjojen välinen etäisyys siteen suunnassa tai siteen ollessa kantavan seinän suunnassa poistettavaksi ajatellun seinälohkon nimellispituuden puolikas. Seinälohkon nimellispituus kuitenkin enintään $2,25 * h$, jossa h on kerrokorkeus metreinä

Laskennassa käytetyt muuttujat sidevoimien $T_1 - T_6$ laskentaan:

$F_t = 48 \text{ kN/m}$ tai $(16+2,1*11) \text{ kN/m} = 48 \text{ kN/m}$ tai $39,1 \text{ kN/m} \rightarrow$ valitaan $39,1 \text{ kN/m}$

$$g_k = 6,6 \text{ kN/m}^2$$

$$q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

$\psi_i = 0,3$, kun välipohjan pääasiallinen kuormitus on muu kuin lumi- tai tuulikuorma

Sidevoimien kertymäleveydet ja z-arvot ovat merkattu suoraan laskentakaavaan.
Z-arvot on valittu pisimpien seinäväljen mukaan.

$$T_1 = (39,1 \text{ kN/m} * 0,8 * (6,6 \text{ kN/m}^2 + 0,3 * 2 \text{ kN/m}^2) / 6 \text{ kN/m}^2) * (5,05 \text{ m} / 2 / 5 \text{ m}) * ((5,7 \text{ m} + 6,3 \text{ m}) / 2) = 113,7 \text{ kN}, \text{ kuitenkin vähintään } 39,1 \text{ kN/m} * ((5,7 \text{ m} + 6,3 \text{ m}) / 2) = 234,6 \text{ kN} \rightarrow \text{valitaan } 234,6 \text{ kN}$$

Vaadittu teräsmäärä:

$$234,6 * 1000 \text{ N} / 500 \text{ N/mm}^2 = 469,2 \text{ mm}^2 \rightarrow 3T16 (603,2 \text{ mm}^2)$$

$$T_2 = (39,1 \text{ kN/m} * 0,8 * (6,6 \text{ kN/m}^2 + 0,3 * 2 \text{ kN/m}^2) / 6 \text{ kN/m}^2) * (5,75 \text{ m} / 2 / 5 \text{ m}) * ((6,3 \text{ m} + 0,45 \text{ m}) / 2) = 72,8 \text{ kN}, \text{ kuitenkin vähintään } 39,1 \text{ kN/m} * ((6,3 \text{ m} + 0,45 \text{ m}) / 2) = 131,9 \text{ kN} \rightarrow \text{valitaan } 131,9 \text{ kN}$$

Vaadittu teräsmäärä:

$$131,9 * 1000 \text{ N} / 500 \text{ N/mm}^2 = 263,8 \text{ mm}^2 \rightarrow 2T16 (402,1 \text{ mm}^2)$$

$$T_3 = (39,1 \text{ kN/m} * 0,8 * (6,6 \text{ kN/m}^2 + 0,3 * 2 \text{ kN/m}^2) / 6 \text{ kN/m}^2) * (2,25 \text{ m} * 3 \text{ m} / 2 / 5 \text{ m}) * ((5,7 \text{ m} + 0,45 \text{ m}) / 2) = 77,9 \text{ kN}, \text{ kuitenkin vähintään } 39,1 \text{ kN/m} * ((5,7 \text{ m} + 0,45 \text{ m}) / 2) = 120,2 \text{ kN} \rightarrow \text{valitaan } 120,2 \text{ kN}$$

Vaadittu teräsmäärä:

$$120,2 * 1000 \text{ N} / 500 \text{ N/mm}^2 = 240,4 \text{ mm}^2 \rightarrow 2T16 (402,1 \text{ mm}^2)$$

$$T_4 = T_5 = (39,1 \text{ kN/m} * 0,8 * (6,6 \text{ kN/m}^2 + 0,3 * 2 \text{ kN/m}^2) / 6 \text{ kN/m}^2) * (6,3 \text{ m} / 5 \text{ m}) * 1,2 \text{ m} = 56,7 \text{ kN}, \text{ kuitenkin vähintään } 39,1 \text{ kN/m} * 1,2 \text{ m} = 46,9 \text{ kN} \rightarrow \text{valitaan } 56,7 \text{ kN}$$

Vaadittu teräsmäärä:

$$56,7 * 1000 \text{ N} / 500 \text{ N/mm}^2 = 113,4 \text{ mm}^2 \rightarrow 1T16 (201,1 \text{ mm}^2)$$

$$T_6 = (39,1 \text{ kN/m} * 0,8 * (6,6 \text{ kN/m}^2 + 0,3 * 2 \text{ kN/m}^2) / 6 \text{ kN/m}^2) * (6,3 \text{ m} / 5 \text{ m}) * (1,2 \text{ m} / 2 + 0,6 \text{ m}) = 56,7 \text{ kN}, \text{ kuitenkin vähintään } 39,1 \text{ kN/m} * (1,2 \text{ m} / 2 + 0,6 \text{ m}) = 46,9 \text{ kN} \rightarrow \text{valitaan } 70 \text{ kN}$$

Vaadittu teräsmäärä:

$$70 * 1000 \text{ N} / 500 \text{ N/mm}^2 = 140 \text{ mm}^2 \rightarrow 1\text{T}16 (201,1 \text{ mm}^2)$$

6.3 Seinien sidonta välipohjaan

Vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvon ollessa $>3,0 \text{ kN/m}^2$, sidonta lasketaan käyttämällä pienempää arvoa kaavoista 3 ja 4. Betoninormikortti 23EC mukaan yhden seinäelementin kantava sidevoima rajataan seuraamusluokassa CC3a maksimissaan 150 kN:iin. RIL201-4-2017 laskentaesimerkin mukaan tätä maksimiarvoa ei kuitenkaan ole rajattu seuraamusluokassa CC3a. Tässä esimerkkikohteen laskennassa sidevoiman suuruus on rajattu 150 kN:iin.

$$F_{tie} = F_t \frac{h}{2,5m} * s \quad (3)$$

$$F_{tie} = 2 * F_t * s \quad (4)$$

jossa

F_t on 48 kN/m tai $(16+2,1*n_s)$ kN/m riippuen siitä, kumpi on pienempi

h on kerroskorkeus

s on sidevoiman kertymäleveys

B500B harjaterästangon leikkauskestävyys lasketaan kaavalla 5.

$$V_{Rd} = \frac{1,2 * \emptyset^2 * \sqrt{f_{ck} * f_{yk}}}{\gamma_c} \quad (5)$$

jossa

\emptyset = teräksen halkaisija

f_{ck} = elementin betonin ominaislujuus

f_{yk} = teräksen ominaislujuus

γ_c = betonin osavarmuusluku onnettomuuskuormayhdistelmille

Laskennassa käytetyt muuttujien arvot sidonnan laskentaan:

$$F_t = 39,1 \text{ kN/m}$$

$$h = 3 \text{ m}$$

$$\varnothing = 20 \text{ mm}$$

$$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_c = 1,2$$

Sidevoimien kertymäleveydet ovat merkattu suoraan laskentakaavaan.

20 mm B500B harjaterästangon leikkauskestävyys:

$$V_{Rd} = (1,2 * (20 \text{ mm})^2 * (30 \text{ N/mm}^2 * 500 \text{ N/mm}^2)^{0,5}) / 1,2 = 48,9 \text{ kN}$$

Linjan 3 reunaseinän mitoitus:

Linja 3 on tarkoitus toteuttaa viidellä seinäelementillä. Seuraavaksi tulee tarkastaa yksi seinäelementti kerrallaan kyseisen seinäelementin sidontatarpeen suuruus. Lasketaan esimerkkinä pisin seinäelementti linjalta 3.

$$F_{tie} = 39,1 \text{ kN/m} * (3 \text{ m} / 2,5 \text{ m}) * 5,75 \text{ m} = 269,8 \text{ kN}, \text{ kuitenkin enintään } 2 * 39,1 \text{ kN/m} * 4,76 \text{ m} = 372,2 \text{ kN} \rightarrow \text{valitaan } 150 \text{ kN}$$

$150 \text{ kN} / 48,9 \text{ kN} = 3,1 \rightarrow$ vaaditaan 4 kpl 20 mm harjaterästankoja kyseiselle seinäelementille.

Muiden seinäelementtien sidonta välipohjaan tarkastetaan vastaavasti.

Esimerkkikohteen muut seinäelementit on tarkasteltu Excel-laskentapohjalla.

6.4 Seinien pystysidonta

Lasketaan kaavalla 6.

$$F_v = G_s + G_k + Q_k \quad (6)$$

jossa

G_s on seinäelementin paino

G_k on seinäelementille tulevan pysyvän kuorman ominaisarvo yhdeltä kerrokselta

Q_k on seinäelementille tulevan muuttuvan kuorman ominaisarvo

Laskennassa käytetyt muuttujien arvot:

h_v = seinän vapaa korkeus = 2,6 m

$\psi_i = 0,3$, kun välipohjan pääasiallinen kuormitus on muu kuin lumi- tai tuulikuorma

Sidevoimien kertymäleveydet ovat merkattu suoraan laskentakaavaan.

Linjan 3 pystysiteiden mitoitus:

Tässä esimerkkikohteessa seinäelementtien välinen pystysuuntainen sidonta on toteutettu 20mm harjaterästangoilla, jotka on sijoitettu seinäelementtiin 80mm suojaputken sisään.

$$F_{viiva} = 6,3 \text{ m} / 2 * (6,6 \text{ kN/m}^2 + 0,3 * 2 \text{ kN/m}^2) + 2,6 \text{ m} * 0,18 \text{ m} * 25 \text{ kN/m}^3 = 34,4 \text{ kN/m}$$

Linja 3 on tarkoitus toteuttaa viidellä seinäelementillä. Seuraavaksi tulee tarkastaa yksi seinäelementti kerrallaan, riittääkö elementtien saumoissa olevat pystysaumateräket ottamaan vetovoiman, joka kertyy seinäelementille yhdestä kerroksesta. Jos seinäelementin pituus kuitenkin ylittää viiden metrin rajan, niin pystysaumaterästen lisäksi tulee käyttää lisäsidontaa, vaikka pystysaumateräket riittäisivätkin ottamaan vaaditun vetovoiman vastaan. Lasketaan esimerkkinä yksi seinäelementti linjalta 3:

Seinäelementille tuleva kuormitus:

$$4,76 \text{ m} * 34,4 \text{ kN/m} = 163,7 \text{ kN}$$

Vaadittu teräsmäärä:

$$163,7 * 1000 \text{ N} / 500 \text{ N/mm}^2 = 327,4 \text{ mm}^2 \rightarrow 1\text{T}16 \text{ kummassakin pystysaumassa} \\ (402,1 \text{ mm}^2)$$

Muiden seinäelementtien pystysuuntainen sidonta lasketaan vastaavasti.

Esimerkkikohteen muut seinäelementit on tarkasteltu Excel-laskentapohjalla.

7 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön keskeisimpänä tavoitteena oli laatia yritykselle laskentapohja jatkuvan sortuman estävän sideraudoituksen mitoittamiseen sekä mitoittaa siderauditus esimerkkikohteessa. Työssä oli myös tarkoituksena käsitellä jatkuva sortuma ilmiönä, keinoja sen estämiseen sekä vertailla eri muuttujien vaikutuksia sidejärjestelmän mitoituksessa.

Eri lähteissä olevat sidejärjestelmän mitoittamiseen käytettävät kaavat ja ohjeet voivat erota toisistaan merkittävästi. Kaavoissa voi olla esimerkiksi annettu sidontavoimien maksimiarvoja, joita ei välttämättä käytetä toisen lähteen mukaan mitoittaessa. Myös annetuissa mitoitusohjeissa on tulkinnanvaraisia kohtia, joita tulisi mielestäni ohjeissa avata enemmän. Eroavaisuudet kaavojen ja ohjeiden välillä voivat aiheuttaa huomattavan eron mitoittaviin rauditusmääriin sidejärjestelmässä.

Sidejärjestelmän mitoittaminen jatkuvalla sortumalla ei ole kovin vaativa mitoitusprosessi, mutta se voi viedä paljon aikaa suunnittelijalta. Rakennuksen kuullessa alhaisempaan seuraamusluokkaan myös sidejärjestelmän mitoitus helpottuu huomattavasti. Korkeamman seuraamusluokan mukaan mitoittaessa kaavoissa olevien muuttujien ja tarkastettavien ehtojen määrä kasvaa. Tällaisten kohteiden mitoituksessa laskenta-alusta tulee tarpeeseen ja sen käyttö säästää huomattavasti suunnittelijan aikaa.

Lähteet

Betset.fi 2012. Betoniteollisuus ry. Ontelolaataston suunnitteluohje. <https://betset.fi/dokumentit/muut-dokumentit/ontelolaatastojen-suunnitteluohje/> Luettu 21.3.2020

Birch, J. 2018. Inside Housing. Ronan Point 50 years on: the worrying legacy of disaster. <https://www.insidehousing.co.uk/comment/comment/ronan-point-50-years-on-the-worrying-legacy-of-a-disaster-56236> Luettu 29.4.2020

Elementtisuunnittelu.fi. 2010. Laskentaesimerkit. Asuinkerrostalon mallilaskelmat. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/laskentaesimerkit?term=bes%202010%20laskentaesimerkki> Luettu 7.5.2020

Elementtisuunnittelu.fi 2010. Liitokset. Liitosten toiminta. Rengasraudoitus. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/liitokset/liitosten-toiminta/rengasraudoitus> Luettu 2.4.2020

Elementtisuunnittelu.fi. 2013. Liitokset. Seinäliitokset. Sisäkuorielementtien liitokset. DSK510: Kantavien sisäkuorielementtien ja väliseinän vaijerilenkkiliitos, tiilijulkisivu. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/liitokset/seinaliitokset> Luettu 29.4.2020

Häyrynen, P. 2012. Ontelolaataston suunnittelukurssi. Elementtisuunnittelu.fi. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/uutiset/2012/11/22/ontelolaatastojen-suunnittelukurssi-pidettiin-21-11-2012-vantaalla> Luettu 21.3.2020

RIL 201-4-2017. Rakenteiden vaurionsietokyvyn varmistaminen onnettomuustilanteessa. Grano Oy. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL201-2-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Grano Oy. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RI-Plan Oy rakennesuunnitelmat

Suomen standardisoimisliitto. SFS-EN 1991-1-7 + AC. 2007. Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-7: Yleiset Kuormat. Onnettomuuskuormat.

Suomen standardisoimisliitto. SFS-EN 1990 + A1 + AC. 2006. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet.

Ympäristöministeriö: 10/16 Ympäristöministeriön asetus rakenteiden onnettomuuskuormia koskevista kansallisista valinnoista sovellettaessa standardia SFS-EN 1991-1-7. https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Rakenteiden_lujuus_ja_vakaus Luettu 13.3.2020